持续热应激对黄羽肉鸡生长性能、器官指数、血清生化指标和抗氧化功能的影响

钟　光[1,2,3]　邵　丹[1,3]　胡　艳[1,3]　施寿荣[1,3]　宋志刚[2]　童海兵[1,3*]

（1.中国农业科学院家禽研究所，扬州 225125；2.山东农业大学动物科技学院，泰安 271018；3.农业部饲料和饲料添加剂有效性试验机构，扬州 225125）

摘　要：本试验旨在研究持续热应激对黄羽肉鸡生长性能、器官指数、血清生化指标和抗氧化功能的影响。选取 35 日龄健康黄羽肉鸡 192 只，随机分为常温组和持续热应激组，每组 8 个重复，每个重复 12 只鸡。常温组温度为（26±0.5） ℃，持续热应激组给予 34 ℃的持续热应激，相对湿度均为 55%左右。试验期 14 d。结果表明：热应激 3 d，持续热应激组血清中尿酸（UA）、甘油三酯（TG）、钙离子（Ca^{2+}）含量以及肝脏中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性、一氧化氮（NO）含量显著低于常温组（P<0.05）。热应激 7 d，持续热应激组血清中总胆固醇（T-CHO）、高密度脂蛋白（HDL）含量和肝脏中 NO 含量显著高于常温组（P<0.05），血清中 TG、NO 含量及过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）活性显著低于常温组（P<0.05）。热应激 14 d，持续热应激组的体重（BW）、平均日增重（ADG）和平均日采食量（ADFI）显著低于常温组，料重比（F/G）显著高于常温组，血清中葡萄糖（GLU）和 TG 含量显著高于常温组（P<0.05）。综上所述，持续热应激能降低黄羽肉鸡生长性能，影响机体脂肪代谢，降低机体的抗氧化功能。

关键词：黄羽肉鸡；持续热应激；生长性能；器官指数；血清生化指标；抗氧化功能

中图分类号：S831　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　文章编号：

高温环境是影响动物生产、繁殖的重要因素之一，会造成细胞和组织损伤，使器官发育受阻，机体抗氧化功能降低，而血液指标会随着组织细胞机能和新陈代谢而变化，研究中常用血清生化指标反映机体营养代谢情况。近年来许多学者报道了热应激对血糖、血脂和载脂蛋白等生理生化指标的影响[1]。因此着眼于热应激对血液指标的影响，是探索热应激对机体损伤机理的基础[2]。国内外对热应激进行了大量的研究。Sun 等[3]研究表明，热应激会使血液指标发生改变，影响机体脂肪代谢，刘梅等[4]试验也表明，急性热应激能提高肉仔鸡血清中甘油三酯（TG）、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)的含量，激活脂肪酸合成相关酶，造成脂肪沉积。黄毅[5]研究表明，热应激能够降低肝脏中过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性，破坏机体的氧化还原平衡。Jin 等[6]和 Zhang 等[7]研究则表明，热应激能降低机

收稿日期：2018-04-12

基金项目：江苏省农业三新工程项目（SXGC[2017]254）

作者简介：钟　光（1990-），男，山东诸城人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: 929479193@qq.com

*通信作者：童海兵，研究员，硕士生导师，E-mail: tonghb@163.com

体的抗氧化功能，而随着热应激时间的延长，机体会逐步建立新的氧化还原平衡。我国黄羽肉鸡主要以农户地面散养为主，环境控制差，夏季极易产生热应激，而当前研究主要以白羽肉鸡、罗斯 308 等商品肉鸡为主，对黄羽肉鸡热应激的研究较少。因此，本试验旨在研究持续热应激对黄羽肉鸡生长性能、器官指数、血清生化指标和抗氧化功能的影响，为寻找缓解规模化黄羽肉鸡养殖过程中热应激损伤的方法提供思路。

1　材料与方法

1.1　试验设计

随机选取体重相近、体况健康的 35 日龄中速型“优麻”黄羽肉鸡 192 只，随机分为常温组（normal group）和持续热应激组（persistent heat stress group），每组 8 个重复，每个重复 12 只鸡。2 组均饲喂基础饲粮。常温组温度为 26 ℃，持续热应激组给予 34 ℃持续热应激，相对湿度均为 55%左右。试验期 14 d。分别在热应激 3、7、14 d 后采集样品。

1.2　饲养管理

试验在中国农业科学院家禽研究所试验基地开展，采用 3 层笼养，鸡笼规格为 120 cm×80 cm×60 cm（长×宽×高），按照黄羽肉鸡饲养标准饲养，并使用北京库蓝科技有限公司生产的动物营养与代谢环控仓进行试验。黄羽肉鸡购自扬州立华畜禽有限公司，基础饲粮按照我国《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet　(air-dry basis)　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	62.30
豆粕 Soybean meal	26.53
玉米蛋白粉 Corn protein meal	5.00
豆油 Soybean oil	2.20
石粉 Limestone	1.30
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.14
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.15
赖氨酸 Lys	0.42
氯化钠 NaCl	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.30
金霉素 Aureomycin	0.10
微量元素 Microelements[1)]	0.20
维生素 Vitamins[2)]	0.03
苏氨酸 Thr	0.03
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	

代谢能 ME/（MJ/kg）	12.63
粗蛋白质 CP	19.72
钙 Ca	0.91
有效磷 AP	0.39
赖氨酸 Lys	1.30
蛋氨酸 Met	0.47
半胱氨酸 Cys	0.31
苏氨酸 Thr	0.74
精氨酸 Arg	1.22

1) 微量元素为每千克饲粮提供 The microelements provided the following per kg of the diet：Mn 12.13 mg，Fe 78.18 mg，Cu 9.26 mg，Zn 25.44 mg，Se 0.04 mg。

2) 维生素为每千克饲粮提供 The vitamins provided the following per kg of the diet：胡萝卜素 carotene 0.06 mg，VE 13.88 mg，VB_1 2.93 mg，VB_2 1.56 mg，VB_3 1.16 mg，烟酸 nicotinic acid 1.12 mg，VB_6 7.74 mg，生物素 biotin 0.15 mg，叶酸 folic acid 0.32 mg，VB_{12} 0.15 mg。

3)代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能

试验开始时统计每个重复的体重，每次喂料时称料重，采集样品前统计每个重复的体重和剩余料重，计算持续热应激 1~14 d 的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.3.2 器官指数

分别于热应激 3、7、14 d 后从每个重复中随机选取 2 只鸡，称重后宰杀，打开腹部皮肤，用游标卡尺测量腹部脂肪带宽度，测量两端和中间 3 处并取平均值，分离肝脏、脾脏、胸肌和腓肠肌并称重。计算器官指数。

1.3.3 血清生化指标

分别于热应激 3、7、14 d 后从每个重复中随机选取 2 只鸡，翅下静脉采血并置于促凝管中，静置、离心，分离血清并置于-20 ℃保存。用 UniCel DxC 800 Synchron 全自动生化分析系统（Beckman Coulter，美国）测定血清中葡萄糖（GLU）、尿酸（UA）、尿素氮（UN）、TG、总胆固醇（T-CHO）、高密度脂蛋白（HDL）、低密度脂蛋白（LDL）和钙离子（Ca^{2+}）的含量，试剂盒购自中山标佳生物科技有限公司。

1.3.4 血清抗氧化酶活性

分别于热应激 3、7、14 d 后从每个重复中随机选取 2 只鸡，翅下静脉采血并置于促凝管中，静置、离心，分离血清并置于-20 ℃保存。测定血清中 CAT、SOD、GSH-Px 活性和一氧化氮（NO）含量，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.3.5 肝脏抗氧化酶活性

分别于热应激 3、7、14 d 后从每个重复中随机选取 2 只鸡，在肝脏相同部位取少量样品置于冻存管中，进行匀浆和稀释等前处理，测定肝脏中 CAT、SOD、GSH-Px 活性和 NO 含量，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4 数据分析

数据经 Excel 2013 进行统计和简单处理后，使用 SPSS 20.0 软件的 *t* 检验进行分析，并进行平均值比较，结果以平均值±标准差表示，并以 P<0.05 作为显著差异，以 0.05≤P<0.10 作为有差异趋势。

2 结 果

2.1 持续热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知，热应激 1~14 d，持续热应激组的体重、平均日增重和平均日采食量显著低于常温组（P<0.05），料重比显著高于常温组（P<0.05）。

表 2 持续热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of persistent heat stress on growth performance of yellow-feathered broilers

项目 Items	常温组 Normal group	持续热应激组 Persistent heat stress group	*P* 值 *P*-value
体重 BW/g	1 542.57±45.76[a]	1 307.16±34.58[b]	<0.001
平均日增重 ADG/g	42.52±1.38[a]	26.11±2.55[b]	<0.001
平均日采食量 ADFI/g	105.47±3.40[a]	83.16±5.26[b]	<0.001
料重比 F/G	2.49±0.09[b]	3.22±0.12[a]	<0.001

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 持续热应激对黄羽肉鸡器官指数的影响

由表 3 可知，热应激 3 d，持续热应激组的脾脏指数显著低于常温组（P<0.05）。

表 3 持续热应激对黄羽肉鸡器官指数的影响

Table 3 Effects of persistent heat stress on organ indices of yellow-feathered broilers

时间 Times	项目 Items	常温组 Normal group	持续热应激组 Persistent heat stress group	*P* 值 *P*-value
热应激 3 d Heat stress 3 days	腹部脂肪带宽度 Width of abdominal fat/mm	10.96±1.21	10.40±0.72	0.119
	肝脏指数 Liver index/%	2.05±0.11	1.93±0.15	0.789
	脾脏指数 Spleen index/%	0.19±0.02[a]	0.12±0.03[b]	<0.001
	胸肌比重 Relative weight of pectoral muscles/%	3.56±0.20	3.56±0.22	0.986
	腓肠肌比重 Relative weight of gastrocnemius/%	0.39±0.03	0.41±0.04	0.308
热应激 7 d	腹部脂肪带宽度 Width of abdominal fat/mm	9.73±1.32	10.08±1.29	0.461
	肝脏指数 Liver index/%	1.88±0.32	1.88±0.22	0.985

Heat	脾脏指数 Spleen index/%	0.20±0.05	0.21±0.06	0.392
stress 7	胸肌比重 Relative weight of pectoral muscles/%	3.70±0.25	3.61±0.28	0.324
days	腓肠肌比重 Relative weight of gastrocnemius/%	0.43±0.03	0.44±0.04	0.619
热应激	腹部脂肪带宽度 Width of abdominal fat/mm	10.95±1.29	10.37±1.28	0.183
14 d	肝脏指数 Liver index/%	2.12±0.11	2.12±0.12	0.992
Heat	脾脏指数 Spleen index/%	0.19±0.02	0.17±0.03	0.329
stress	胸肌比重 Relative weight of pectoral muscles/%	3.53±0.25	3.48±0.27	0.569
14 days	腓肠肌比重 Relative weight of gastrocnemius/%	0.42±0.03	0.42±0.02	0.556

2.3 持续热应激对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

由表 4 可知，热应激 3 d，持续热应激组的血清中 UA、TG 和 Ca^{2+}含量显著低于常温组（P<0.05）。热应激 7 d，持续热应激组的血清中 T-CHO 和 HDL 含量显著高于常温组（P<0.05），血清中 TG 含量显著低于常温组（P<0.05）。热应激 14 d，持续热应激组的血清中 GLU 和 TG 含量显著高于常温组（P<0.05），血清中 T-CHO 含量有高于常温组的趋势（P=0.098）。

表 4　持续热应激对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

Table 4　Effects of persistent heat stress on serum biochemical indices of yellow-feathered broilers

时间 Times	项目 Items	常温组 Normal group	持续热应激组 Persistent heat stress group	P 值 P-value
热应激 3 d Heat stress 3 days	葡萄糖 GLU/(mmol/L)	13.38±1.05	13.71±0.98	0.294
	尿酸 UA/（μmol/L）	288.79±45.02[a]	220.04±36.48[b]	0.003
	尿素氮 UN/(mmol/L)	0.36±0.04	0.28±0.05	0.216
	总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	3.47±0.38	3.39±0.32	0.468
	甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.43±0.08[a]	0.32±0.05[b]	0.007
	高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	2.59±0.15	2.60±0.17	0.929
	低密度脂蛋白 LDL/（U/L）	0.68±0.10	0.70±0.11	0.655
	钙离子 Ca^{2+}/（mmol/L）	2.68±0.05[a]	2.58±0.07[b]	<0.001
热应激 7 d Heat stress 7 days	葡萄糖 GLU/(mmol/L)	11.28±0.58	10.91±1.25	0.337
	尿酸 UA/（μmol/L）	218.04±44.49	198.83±47.06	0.300
	尿素氮 UN/(mmol/L)	0.79±0.05	0.73±0.06	0.666
	总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	3.22±0.25[b]	3.67±0.27[a]	0.001
	甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.34±0.09[a]	0.23±0.07[b]	0.001
	高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	2.36±0.23[b]	2.68±0.26[a]	0.001
	低密度脂蛋白 LDL/（U/L）	0.75±0.11	0.78±0.10	0.365
	钙离子 Ca^{2+}/（mmol/L）	2.68±0.09	2.72±0.10	0.214
热应激 14 d Heat stress 14 days	葡萄糖 GLU/(mmol/L)	11.14±0.60[b]	11.81±0.52[a]	0.002
	尿酸 UA/（μmol/L）	195.33±16.62	193.68±25.57	0.926
	尿素氮 UN/(mmol/L)	0.59±0.04	0.45±0.05	0.306
	总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	3.82±0.30	4.07±0.52	0.098
	甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.47±0.05[b]	0.73±0.07[a]	0.007
	高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	2.72±0.23	2.87±0.32	0.189

低密度脂蛋白 LDL/（U/L）	0.83±0.12	0.90±0.15	0.159
钙离子 Ca^{2+}/（mmol/L）	2.71±0.07	2.68±0.08	0.167

2.4 持续热应激对黄羽肉鸡血清抗氧化功能的影响

由表 5 可知，热应激 3 d，持续热应激组的血清中 CAT 活性有低于常温组的趋势（P=0.065）。热应激 7 d，持续热应激组的血清中 CAT、SOD 活性和 NO 含量显著低于常温组（P<0.05）。

表 5 持续热应激对黄羽肉鸡血清抗氧化功能的影响

Table 5 Effects of persistent heat stress on serum antioxidant function of yellow-feathered broilers

时间 Time	指标 Indices	常温组 Normal group	持续热应激组 Persistent heat stress group	*P* 值 *P*-value
热应激 3 d Heat stress 3 days	过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	18.54±2.31	16.49±2.16	0.065
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	100.77±16.92	96.68±17.25	0.525
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	730.09±70.11	692.88±59.34	0.545
	一氧化氮 NO/（μmol/L）	37.04±2.81	37.33±2.45	0.619
热应激 7 d Heat stress 7 days	过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	19.06±3.44^{a}	15.28±3.06^{b}	0.026
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	139.90±12.56^{a}	129.52±10.89^{b}	0.041
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	822.93±76.18	848.78±74.53	0.511
	一氧化氮 NO/（μmol/L）	39.27±2.42^{a}	29.52±2.59^{b}	0.030
热应激 14 d Heat stress 14 days	过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	19.88±3.21	18.92±2.84	0.273
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	140.85±10.92	131.70±9.28	0.216
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	943.24±22.38	925.48±26.82	0.549
	一氧化氮 NO/（μmol/L）	42.05±6.53	40.86±9.02	0.328

2.5 持续热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

由表 6 可知，热应激 3 d，持续热应激组的肝脏中 GSH-Px 活性和 NO 含量显著低于常温组（P<0.05），肝脏中 SOD 活性有低于常温组的趋势（P=0.060）。热应激 7 d，持续热应激组的肝脏中 NO 含量显著高于常温组（P<0.05），肝脏中 CAT 活性有高于常温组的趋势（P=0.072）。

表 6 持续热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

Table 6 Effects of persistent heat stress on liver antioxidant function of yellow-feathered broilers

时间 Times	项目 Items	常温组 Normal group	持续热应激组 Persistent heat stress group	*P* 值 *P*-value
热应激 3	过氧化氢酶 CAT/（U/mg	40.98±2.59	44.22±4.03	0.492

d	prot）			
Heat stress 3 days	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	249.19±14.67	228.47±17.25	0.060
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	1 041.17±70.11^{a}	649.08±53.48^{b}	0.007
	一氧化氮 NO/（μmol/g prot）	7.44±0.89^{a}	6.88±1.45^{b}	0.046
热应激 7 d Heat stress 7 days	过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	52.30±8.64	58.46±9.30	0.072
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	259.47±2.84	261.70±3.28	0.194
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	1 050.72±56.23	910.44±36.54	0.495
	一氧化氮 NO/（μmol/g prot）	52.35±8.63^{b}	57.56±6.84^{a}	0.031
热应激 14 d Heat stress 14 days	过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	50.08±9.62	47.96±10.56	0.462
	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	249.62±25.67	242.87±35.87	0.834
	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	1 086.34±66.58	994.58±58.71	0.786
	一氧化氮 NO/（μmol/g prot）	49.42±8.56	47.61±6.49	0.884

3 讨 论

3.1 持续热应激对黄羽肉鸡生长性能的影响

大量试验已经证实，充足的采食量是动物生存和更好发挥生产潜力的必要保证。而热应激会降低采食量，导致机体的生理机能会发生改变，并随应激强度的加强，机体代谢发生紊乱，体重下降甚至出现负增长，免疫功能降低，甚至会导致死亡[8]。Deng 等[9]和 Lin 等[10]研究表明，采食量下降是热应激降低生长性能的根源，并直接导致机体的体重、饲料利用率、产蛋量和蛋品质下降，从而降低机体的生长性能。Sohail 等[11]研究也表明，热应激能够显著降低 42 日龄肉仔鸡的体重和饲料利用效率，给生产带来不利影响。本试验结果表明，热应激 14 d 后，黄羽肉鸡的平均日增重、平均日采食量显著降低，料重比显著升高，说明持续热应激降低了黄羽肉鸡的采食、生长和饲料利用效率，从而降低了生长性能，这与前人研究结果一致。

3.12 持续热应激对黄羽肉鸡器官指数的影响

器官指数是机体系统发育状况的重要指标[12]，并直接影响机体的代谢水平。脾脏是禽类重要的免疫器官，呙于明等[13]研究发现，随热应激时间的延长，机体器官的发育会受到阻碍，免疫器官比重尤其是脾脏比重显著降低。刘思当等[14]也通过试验证明热应激能够降低肉仔鸡的脾脏比重。王超

等[15]则研究表明，热应激对小鼠的器官发育无显著影响，并认为出现不同的结果可能与试验动物和试验条件有关。本试验结果表明，热应激 3 d，持续热应激组的脾脏指数显著低于常温组，其他时间和器官均未出现显著差异，这表明在本试验条件下，持续热应激对机体的器官发育无显著作用，与前人研究结果不一致，可能是因为试验采用的是黄羽肉鸡，其抗性相对较高，对不良环境的适应能力相对较强所致。

3.3 持续热应激对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

血清生化指标常用来反映动物体内物质代谢和组织器官机能变化，并广泛应用于研究热应激对机体的影响[16]。常用血清 GLU、UA、TG 和 T-CHO 含量等指标反映机体糖、蛋白质和脂肪代谢状况，血清 UN 含量反映了动物体内氨基酸平衡和蛋白质的代谢情况[17-18]，血清 Ca^{2+}含量反映了血液 pH 的变化，当 pH 降低时，血液中结合钙解离，Ca^{2+}含量增加。邴于明[19]认为，热应激会促进机体血清 GLU 含量升高，蛋白质的降解速度增加，从而造成非蛋白氮含量升高，脂肪合成增多并成为主要的能量储存方式。王晓霞等[16]试验表明，热应激能升高血清 GLU 含量，并认为是糖皮质激素使机体蛋白质分解代谢和糖异生作用加快造成的。本试验结果表明，与常温组相比，热应激 3 d，持续热应激组血清 TG 和 Ca^{2+}含量下降；热应激 7 d，持续热应激组血清 TG 含量下降，血清 HDL 和 T-CHO 含量上升；热应激 14 d，持续热应激组血清 TG 含量显著升高。这说明在本试验条件下，持续热应激影响了机体的脂肪代谢，但热应激 3、7 和 14 d 的血清 TG 含量出现相反的结果，不能说明持续热应激对脂肪代谢的具体影响，其具体原因仍需要进一步试验。而热应激 3 d 血清 Ca^{2+}含量下降可能是持续热应激造成机体呼吸加快，加速了二氧化碳（CO_2）的排出，使血液碳酸-碳酸氢根（H_2CO_3—HCO_3^-）平衡右移，造成机体血液 pH 升高，这与前人研究结果相同。

3.4 持续热应激对黄羽肉鸡血清抗氧化功能的影响

热应激条件下，机体会产生过量自由基并通过各类反应破坏氧化还原平衡，使机体的正常秩序及生理代谢发生紊乱，机体自由基的清除主要依靠体内各类抗氧化酶，包括 SOD、CAT 和 GSH-Px 等[20-21]。李叶涵等[22]研究表明，热应激显著增加了肉鸡的过氧化程度，使血清丙二醛（MDA）含量增加，血清 GSH-Px 活性降低，机体的抗氧化功能被破坏。也有研究表明，NO 是心血管机能的重要调节性物质，也是一种重要的神经递质，具有广泛的生理功能[23]。热应激发生时，机体的 NO 可引起血管扩张，介导和调节心肺功能，调节体温[24]。王松波等[25]通过试验证明，热应激会显著降低血清 GSH-Px 的活性，进而导致血清 MDA 含量的增加。应激 48 h 后细胞中 MDA 含量增加，SOD 活性降低[26]。本试验结果表明，热应激 3 d，持续热应激组血清 CAT 活性有低于常温组的趋势，而到热应激 7 d 时，血清 CAT、SOD 活性显著低于常温组，说明本试验条件下，持续热应激能够降低血清的抗氧化功能，且随着热应激时间的延长，血清抗氧化酶的活性持续降低，说明持续热应激能

随时间的延长进一步加深对机体抗氧化功能的影响，这与前人研究结果相一致。热应激 14 d，血清中抗氧化酶的活性未出现显著差异，可能是机体逐步适应热环境并建立了新的氧化还原平衡，机体的抗氧化功能逐渐恢复所致。本试验也发现在热应激 7 d 时，持续热应激组的血清 NO 含量显著低于常温组，这与前人研究结果不同，其原因仍需要进一步研究。

3.5 持续热应激对黄羽肉鸡肝脏抗氧化功能的影响

本试验结果表明，热应激 3 d，持续热应激组的肝脏 GSH-Px 活性显著低于常温组；热应激 7 d，持续热应激组的肝脏 NO 含量显著高于常温组；而热应激 14 d，肝脏抗氧化酶的活性未出现显著差异。这表明在本试验条件下，持续热应激降低了肝脏中的抗氧化酶活性，增加了 NO 的含量，而随着时间延长，机体可能逐步适应热环境并建立新的氧化还原平衡，因而各种酶活性的差异性消失。这与王斌等[24]和王松波等[25]的研究结果相同，而持续热应激组在热应激 3 d，肝脏中 NO 含量显著低于常温组，这与前人研究结果不同，但与本试验热应激 3 d 后血清中 NO 含量的结果相符合，作者认为出现这种现象并非测定误差造成的，可能与试验动物、日龄和其他条件有关，具体原因仍需要进一步试验的验证。

4 结 论

持续热应激能降低黄羽肉鸡生长性能，影响机体脂肪代谢，降低机体的抗氧化功能。

参考文献：

[1] MASHALY M M,HENDRICKS Ⅲ R L,KALAMA M A,et al.Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens[J].Poultry Science,2004,83(6):889–894.

[2] ALAM M M,HASHEM M A,RAHMAN M M,et al.Effect of heat stress on behavior,physiological and blood parameters of goat[J].Progressive Agriculture,2013,22(1/2):37–45.

[3] SUN X L,ZHANG H C,SHEIKHAHMADI A,et al.Effects of heat stress on the gene expression of nutrient transporters in the jejunum of broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*)[J].International Journal of Biometeorology,2015,59(2):127–135.

[4] 刘梅.急性热应激对肉仔鸡生长性能及脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2011,23(5):862–868.

[5] 黄毅.热应激对小鼠肝脏抗氧化功能的影响及日粮添加 TBHQ 的缓解作用研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2012.

[6] JIN S H,LI X Q,ZHENG B S,et al.Response of the photosynthesis and antioxidant systems to high-temperature stress in *Euonymus japonicus* seedlings[J].Forest Science,2010,56(2):172–180.

[7] ZHANG F J,WENG X G,WANG J F,et al.Effects of temperature-humidity index and chromium supplementation on antioxidant capacity,heat shock protein 72,and cytokine responses of lactating

cows[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):3026–3034.

[8] 李军乔,王振旗,张敏红.热应激对肉仔鸡生产性能及肉品质的影响[J].饲料研究,2012(3):59–60.

[9] DENG W,DONG X F,TONG J M,et al.The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production,gut morphology,and intestinal mucosal immunity in laying hens[J].Poultry Science,2012,91(3):575–582.

[10] LIN H,WANG L F,SONG J L,et al.Effect of dietary supplemental levels of vitamin A on the egg production and immune responses of heat-stressed laying hens[J].Poultry Science,2002,81(4):458-459.

[11] SOHAIL M U,HUME M E,BYRD J A,et al.Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress[J].Poultry Science,2012,91(9):2235–2240.

[12] 崔治中,崔保安.兽医免疫学[M].北京:中国农业出版社,2004:13 -20.

[13] 呙于明,刘彩霓,周毓平.高温应激对肉仔鸡的影响及补铬的效果研究[J].畜牧兽医学报,1998,29(4):339–344.

[14] 刘思当,宁章勇,谭勋,等.实验性热应激对肉仔鸡免疫器官的影响[J].中国兽医学报,2003,23(3):281–283.

[15] 王超,赵传超,施忠秋,等.热应激对小鼠器官指数、小肠损伤及胃*HSP*70 mRNA 表达的影响[J].中国实验动物学报,2014(5):63–66.

[16] 王晓霞,滑静,何欣,等.微营养素对热应激期蛋鸡血液生化指标的影响[J].畜牧兽医杂志,2000,19(1):3–6.

[17] MALMLÖF K,NUNES C S,ASKBRANT S.Effects of guar gum on plasma urea,insulin and glucose in the growing pig[J].British Journal of Nutrition,1989,61(1):67–73.

[18] CHEN H Y,MILLER P S,LEWIS A J,et al.Changes in plasma urea concentration can be used to determine protein requirements of two populations of pigs with different protein accretion rates[J].Journal of Animal Science,1995,73(9):2631–2639.

[19] 呙于明.家禽营养[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2016.

[20] LiN H,DU R,ZHANG Z Y.Peroxide status in tissues of heat-stressed broilers[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13(10):1373-1376.

[21] 林海.家禽热应激状态下的营养与生理反应[M]//李德发.动物营养研究进展.北京：中国农业科学技术出版社,2004：237-248.

[22] 李叶涵,周佳,张越,等.*L*-精氨酸和α-酮戊二酸对热应激肉鸡肝脏功能的影响[J].饲料工

业,2016,37(16):6–11.

[23] 王凯,何永明,何慧芬,等.一氧化氮在仙湖三号鸭长期自然热应激中的作用[J].畜牧与兽医,2004,36(12):35–36.

[24] 王斌,刘瑶,罗炳德.大鼠保护性热应激模型中肿瘤坏死因子及一氧化氮的研究[J].中华劳动卫生职业病杂志,2002,20(1):13–15.

[25] 王松波,邓琳,赵婕,等.热应激对肉鸡抗氧化能力及腓肠肌纤维类型的影响[J].华南农业大学学报,2015,36(6):23–28.

[26] CHEN X X,REN F,HESKETH J,et al.Interaction of porcine circovirus type 2 replication with intracellular redox status *in vitro*[J].Redox Report Communications in Free Radical Research,2013,18(5):186–192.

Effects of Persistent Heat Stress on Growth Performance, Organ Indices, Serum Biochemical Indices and Antioxidant Function on Yellow-Feathered Broilers

ZHONG Guang[1,2,3] SHAO Dan[1,3] HU Yan[1,3] SHI Shourong[1,3] SONG Zhigang[2] TONG Haibing[1,3*]

(1. *Poultry Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou* 225125, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*; 3. *Institute of Effective Evaluation of Feed and Feed Additive, Ministry of Agriculture, Yangzhou* 225125, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of persistent heat stress on growth performance, organ indices, serum biochemical indices and antioxidant function on yellow-feathered broilers. A total of 192 healthy 35-day-old yellow-feathered broilers were randomly divided into normal group and persistent heat stress group with 8 replicates per group and 12 chicks per replicate. Broilers in persistent heat stress group were given a persistent heat stress at 34 ℃, while （26±0.5） ℃ in normal group. The relative humidity is about 55% and experiment lasted for 14 days. The results showed as follows: on heat stress 3 days, the contents of uric acid (UA), triglyceride (TG) and calcium ion (Ca^{2+}) in serum and the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px), the content of nitric oxide (NO) in liver of persistent heat stress group were significantly lower than those of the normal group (P<0.05). On heat stress 7 days, the contents of total cholesterol (T-CHO), high density lipoprotein (HDL) in serum and content NO in liver of persistent heat stress group were significantly higher than those of the normal group (P<0.05), while the contents of TG, NO and the activities of catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) in serum were significantly lower than those of the normal group (P<0.05). On heat stress 14 days, the

body weight, average daily gain (ADG) and average daily feed intake (ADFI) of persistent heat stress group were significantly lower than those of the normal group (P<0.05), while the ratio of feed to gain was significantly higher than that of the normal group (P<0.05), the contents of glucose (GLU) and TG in serum were significantly higher than those of the normal group (P<0.05). In summary, persistent heat stress can decrease the growth performance, affect the metabolism of fat and reduce the body antioxidant function of yellow-feathered broilers.

Key words: yellow-feathered broilers; persistent heat stress; growth performance; organ indices; serum biochemical indices; antioxidant function

---

*Corresponding author, professor, E-mail: tonghb@163.com （责任编辑　武海龙）